อุณหพลศาสตร์ (เทอร์โมไดนามิกส์)

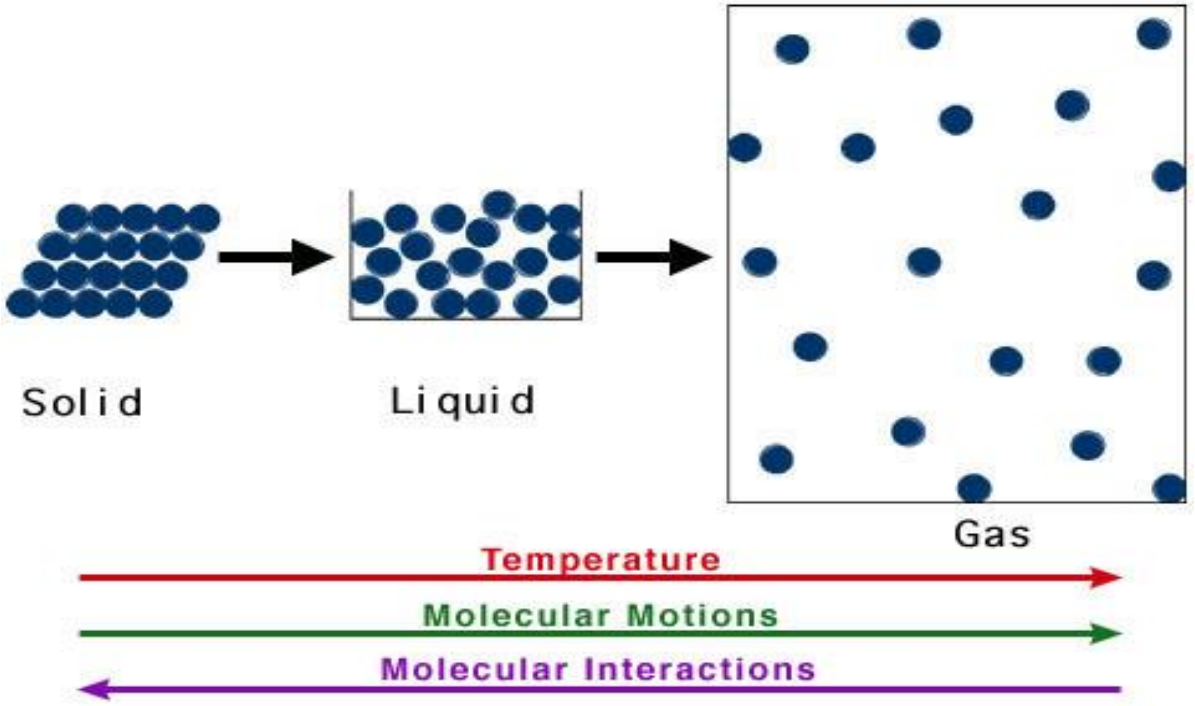
Thermodynamics

ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานความร้อน สมบัติของสารตัวกลางในการทำงาน ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติและปริมาณทางฟิสิกส์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปพลังงาน เช่น

- การเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน
- การเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นงานกล

สถานะของสาร

มี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และไอ



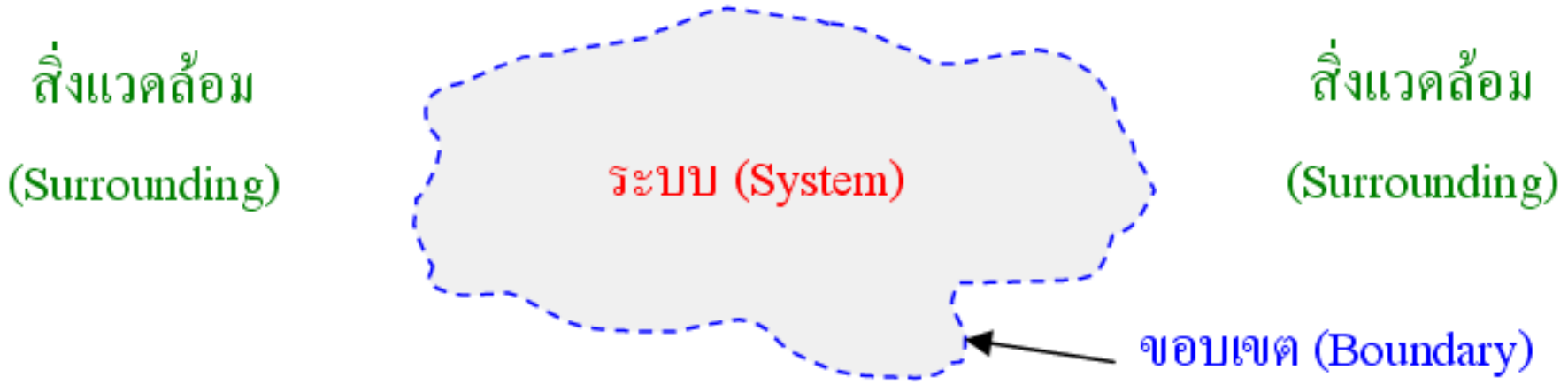
คุณสมบัติ

หมายถึง ลักษณะใด ๆ ที่สังเกตได้หรือสามารถวัดค่าได้ และจะเป็นตัวที่ชี้ให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของสารที่อยู่ในระบบนั้น ๆ มี 2 ประเภท

- **คุณสมบัติภายใน (Intensive Properties)** คือคุณสมบัติที่ขนาดของมันไม่ขึ้นกับมวลของระบบ เช่น ความดัน อุณหภูมิ **ความหนาแน่น**
- **คุณสมบัติภายนอก (Extensive Properties)** คือคุณสมบัติที่ขนาดของมันเปลี่ยนไปตามมวลของระบบ เช่น น้ำหนัก ปริมาตร เอนทาลปี(H) พลังงานภายใน (U) เอนโทรปี (S)

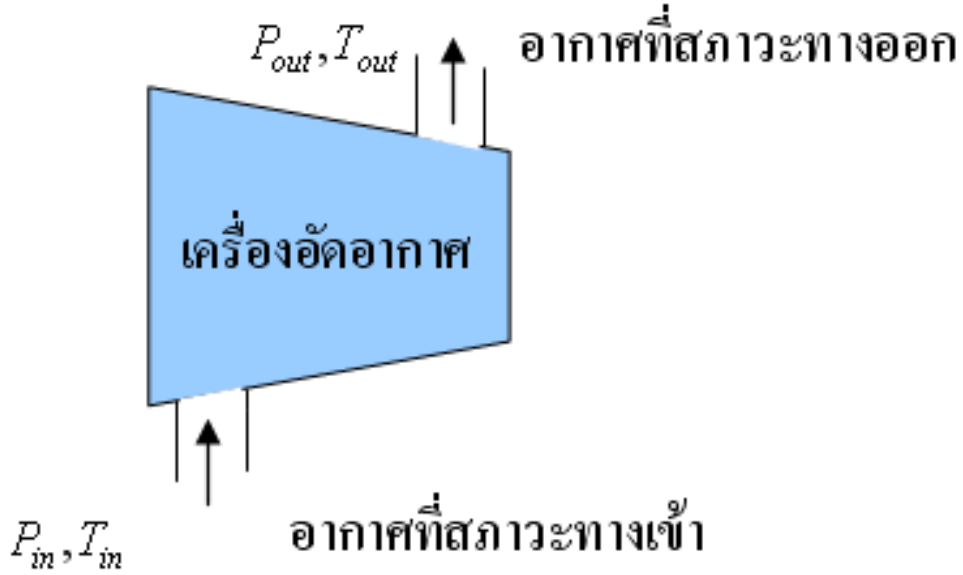
ระบบ

หมายถึงอาณาบริเวณใดบริเวณหนึ่งที่เลือกขึ้นมาเพื่อศึกษา ส่วนสิ่งอื่น ๆ ที่อยู่นอกระบบเรียกว่า สิ่งแวดล้อม และสิ่งที่แบ่งกั้นระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม เรียกว่า ขอบเขต ซึ่งขอบเขตของระบบนั้นอาจจะมีขนาดคงที่หรือไม่คงที่ก็ได้



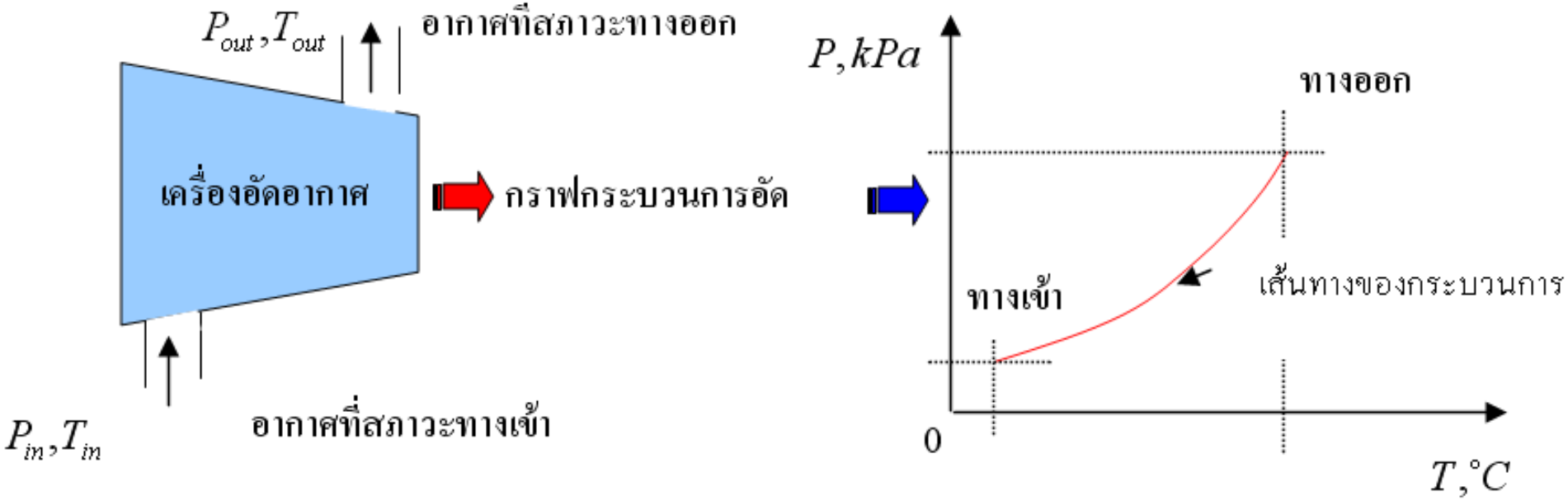
สภาวะ

เป็นตัวบอกสภาพของระบบ ณ จุดที่เราให้ความสนใจ โดยใช้คุณสมบัติที่ไม่ขึ้นต่อกันอย่างน้อย 2 ตัว มาระบุ ซึ่งการกำหนดสภาวะของระบบจะกระทำได้ก็ต่อเมื่อระบบมีความสมดุล (Equilibrium)



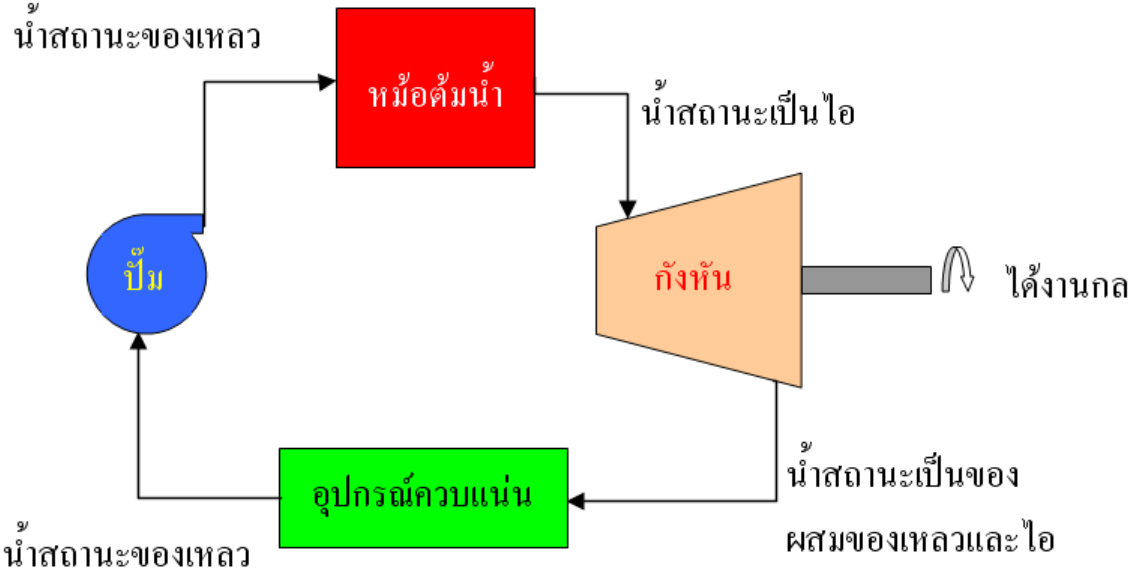
กระบวนการ

เมื่อระบบอยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงจากสภาวะสมดุลหนึ่งไปยังสภาวะสมดุลอื่น ๆ



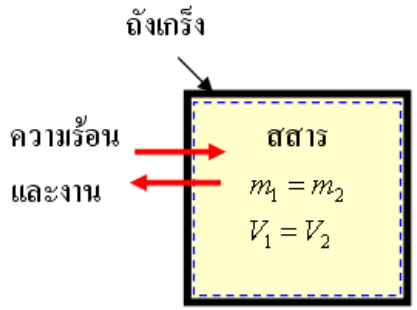
วัฏจักร

ระบบใด ๆ ก็ตามที่มีการดำเนินกระบวนการจากสภาวะเริ่มต้นไปจนถึงสภาวะสุดท้ายแล้ว สามารถกลับมายังที่จุดเริ่มต้นอีกครั้งได้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ โดยที่คุณสมบัติของระบบจะเหมือนกับสภาวะเริ่มต้นเดิมทุกอย่าง

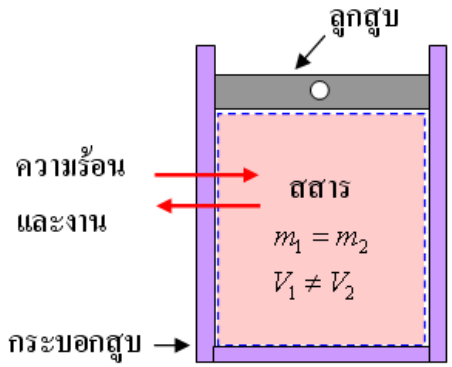


ระบบ

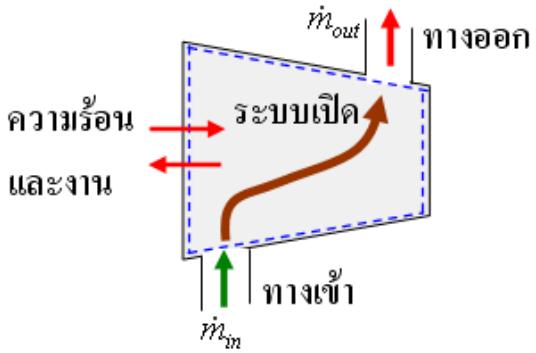
แบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ ระบบปิด ระบบเปิด ระบบโดดเดี่ยว

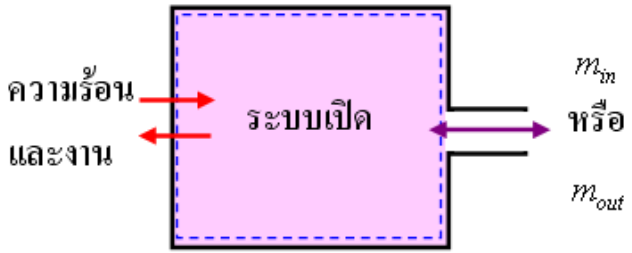


(ก) ขอบเขตคงที่

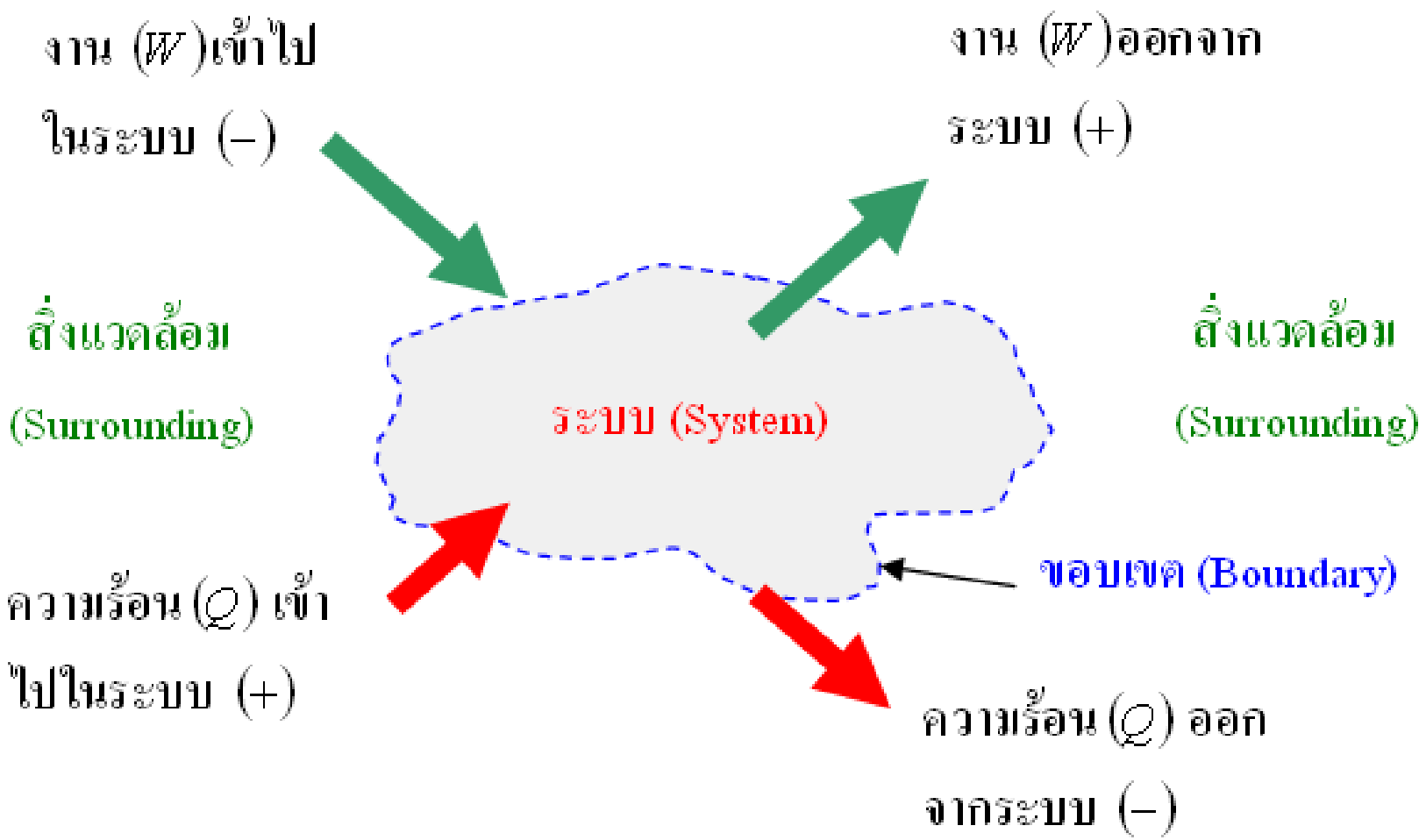


(ข) ขอบเขตไม่คงที่





การกำหนดเครื่องหมายให้กับความร้อนและงาน



หน่วยของความร้อน

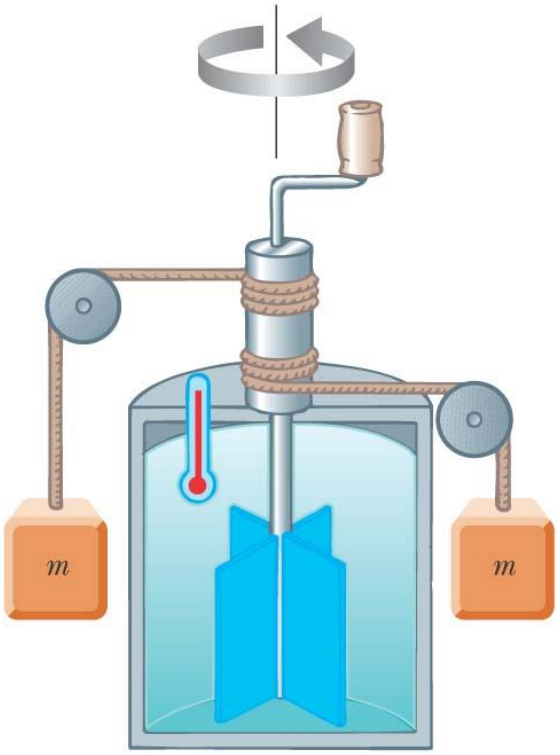
- ในระบบ SI หน่วยของความร้อน คือ

  จูล(Joules : J)

James Prescott Joule
British physicist (1818–1889)

หน่วยของความร้อน

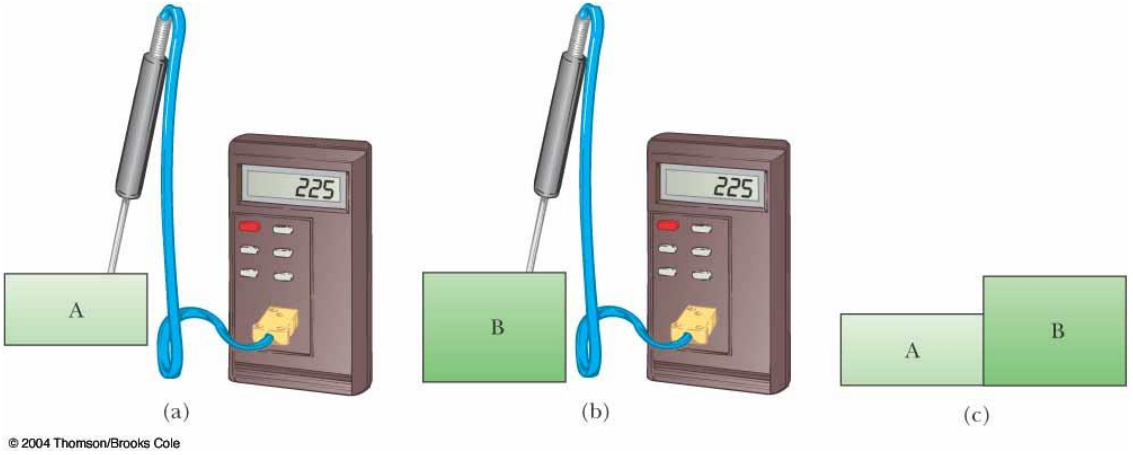
- แคลอรี (calorie : cal)
- ปริมาณความร้อน 1 cal คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 14.5 องศาเซลเซียส เป็น 15.5 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm
- 1 cal = 4.186 J



อุณหภูมิและความร้อน
(Temperature and Heat)

- สมดุลความร้อน(thermal equilibrium)
  - กฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์(The Zeroth Law of Thermodynamics)

    “ ถ้าวัตถุ A และวัตถุ B ต่างก็อยู่ในสมดุลความร้อนกับวัตถุ C แล้ววัตถุ A และวัตถุ B จะอยู่ในสมดุลความร้อนซึ่งกันและกันด้วย ”



อุณหภูมิและความร้อน
(Temperature and Heat)

- เทอร์โมมิเตอร์(thermometer)
  - ขีดสเกลบนท่อ แบ่งเป็น 100 ช่วงเท่า ๆ กัน
  - จุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์อยู่ที่ศูนย์ และระดับที่อุณหภูมิ ณ จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์อยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส
  - แต่ละช่วงเรียกว่า องศา (degree)
  - สเกลนี้เรียกว่า สเกลเซลเซียส (Celsius temperature scale)
  - หน่วยที่ใช้บอกอุณหภูมิ คือ องศาเซลเซียส ^{0}C

อุณหภูมิและความร้อน
(Temperature and Heat)

– เทอร์โมมิเตอร์(thermometer)

- สเกลฟาเรนไฮต์(Fahrenheit Temperature Scale)
- จุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 32 องศาฟาเรนไฮต์
- จุดเดือดของน้ำอยู่ที่ 212 องศาฟาเรนไฮต์
- จุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำจะอยู่ห่างกัน 180 องศาฟาเรนไฮต์
- จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลฟาเรนไฮต์กับสเกลเซลเซียส คือ

$$T_{\mathrm{F}} = \frac{9}{5} T_{\mathrm{C}} + 32^{\circ}\mathrm{F}$$

$$\Delta T_{\mathrm{C}} = \Delta T = \frac{5}{9} \Delta T_{\mathrm{F}}$$

อุณหภูมิและความร้อน
(Temperature and Heat)

– อุณหภูมิในสเกลเคลวินหรือสเกลสัมบูรณ์

(Kelvin or Absolute Temperature Scale)

- วัดความดันที่ 0 atm องศาเซลเซียส และ ที่ 100 องศาเซลเซียส
- ความดันเป็น 0 atm ที่ - 273.15 องศาเซลเซียส

$$T_C = T - 273.15$$

Example 1 : การแปลงหน่วย

อุณหภูมิ ณ วันหนึ่งที่ดอยเชียงดาวเท่ากับ **50** °F, จงเปลี่ยนให้เป็นองศาเซลเซียส และเคลวิน **?**

<u>วิธีทำ</u>

$$T_{\mathrm{C}} = \tfrac{5}{9}(T_{\mathrm{F}} - 32) = \tfrac{5}{9}(50 - 32)$$

$$= 10^{\circ}\mathrm{C}$$

$$T = T_{\mathrm{C}} + 273.15 = 10^{\circ}\mathrm{C} + 273.15 = 283\ \mathrm{K}$$

การขยายตัวตามอุณหภูมิหรือความร้อน (Thermal Expansion)

- การขยายตัวเชิงเส้น (Linear Expansion)
- การขยายตัวเชิงพื้นที่ (Area Expansion)
- การขยายตัวเชิงปริมาตร (Volume Expansion)

ประโยชน์ : การขยายตัวตามอุณหภูมิหรือความร้อน

ความจุความร้อนจำเพาะ
(Specific Heat Capacity)

- แทนปริมาณความร้อน Q ที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ
  - ความจุความร้อน (heat capacity, C,)

$$Q = C\Delta T$$

  - ความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity) หรือ ความร้อนจำเพาะ (specific heat)

$$Q = mc\Delta T$$

$$c \equiv \frac{Q}{m\Delta T}$$

ความจุความร้อนจำเพาะ
(Specific Heat Capacity)

- **ถ้าระบบมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น :**
  - Q และ ΔT เป็นบวก
  - พลังงานจะถ่ายโอน**เข้าสู่ระบบ**
- **ถ้าระบบมีอุณหภูมิลดลง:**
  - Q และ ΔT มีค่าเป็นลบ
  - พลังงานจะถ่ายโอน**ออกจากระบบ**

ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะ

Specific Heats of Some Substances at 25°C and Atmospheric Pressure

Substance	Specific heat c J/kg · °C	cal/g · °C
Elemental solids		
Aluminum	900	0.215
Beryllium	1 830	0.436
Cadmium	230	0.055
Copper	387	0.092 4
Germanium	322	0.077
Gold	129	0.030 8
Iron	448	0.107
Lead	128	0.030 5
Silicon	703	0.168
Silver	234	0.056
Other solids		
Brass	380	0.092
Glass	837	0.200
Ice (− 5°C)	2 090	0.50
Marble	860	0.21
Wood	1 700	0.41
Liquids		
Alcohol (ethyl)	2 400	0.58
Mercury	140	0.033
Water (15°C)	4 186	1.00
Gas		
Steam (100°C)	2 010	0.48

กฎการอนุรักษ์พลังงาน : แคลอรีมิเตอร์

- กฎการอนุรักษ์พลังงาน
  - หาอุณหภูมิผสม

$$Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$$

  - จากสมการ

$$Q = mc\,\Delta T$$

ตัวอย่าง

กล่องโลหะมวล 0.5 กิโลกรัม ถูกทำให้ร้อนขึ้น 200 องศาเซลเซียส จากนั้นทำให้นำไปใส่ในพาชนะบรรจุมีน้ำมวล 0.4 กิโลกรัม ซึ่งเริ่มต้น 20 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสุดท้ายที่เข้าสู่สมดุลเท่ากับ 22.4 องศาเซลเซียส จงหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของกล่องโลหะนี้

$$m_w c_w (T_f - T_w) = - m_x c_x (T_f - T_x)$$

$$(0.400\ \text{kg})(4\,186\ \text{J/kg}\cdot^\circ\text{C})(22.4^\circ\text{C} - 20.0^\circ\text{C})$$

$$= - (0.050\,0\ \text{kg})(c_x)(22.4^\circ\text{C} - 200.0^\circ\text{C})$$

From this we find that

$$c_x = 453\ \text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

การส่งผ่านความร้อน

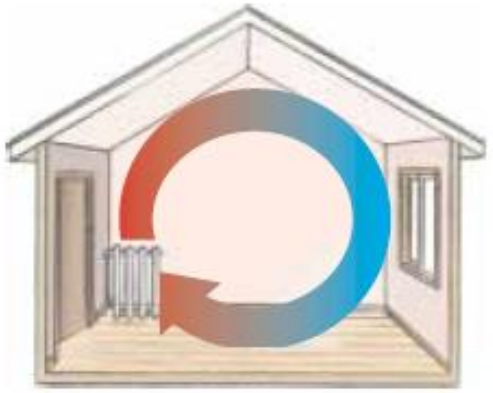
(Heat Transfer)

- การนำความร้อน (conduction)
- การพาความร้อน (convection)
- การแผ่รังสี (radiation)

การนำความร้อน(Conduction)

- การนำความร้อนเป็นผลเนื่องจากการชนระหว่างโมเลกุลหรืออะตอมในเนื้อสาร (molecular collision)
  - เกิดขึ้นระหว่างบริเวณที่มีอุณหภูมิต่างกันเท่านั้น
  - ทิศทางของการไหลของความร้อนจะต้องไปจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ

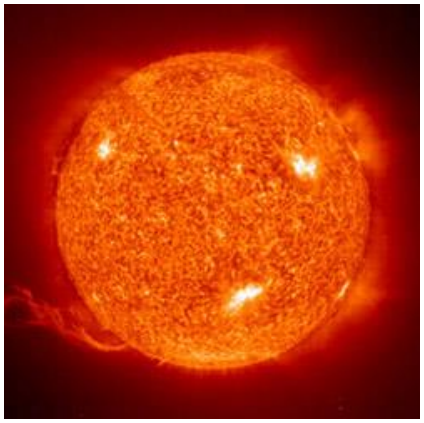
A pan of boiling water sits on a stove burner. Energy enters the water through the bottom of the pan by thermal conduction.



การพาความร้อน(Convectio

- การพาความร้อนเกิดขึ้นในสสารหรือตัวกลางที่เป็นของไหล โดยการเคลื่อนที่ของมวล ของของไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง
  - เครื่องทำความร้อน (Radiator) ทำให้ห้องอบอุ่นด้วย ***การพาความร้อน***
    - ***อากาศเหนือเครื่องทำความร้อนได้รับความร้อน***
      - ***มีการขยายตัว ความหนาแน่นลดลง***
      - ***อากาสลอยตัวสูงขึ้น (ตามหลักของการลอยตัว)***

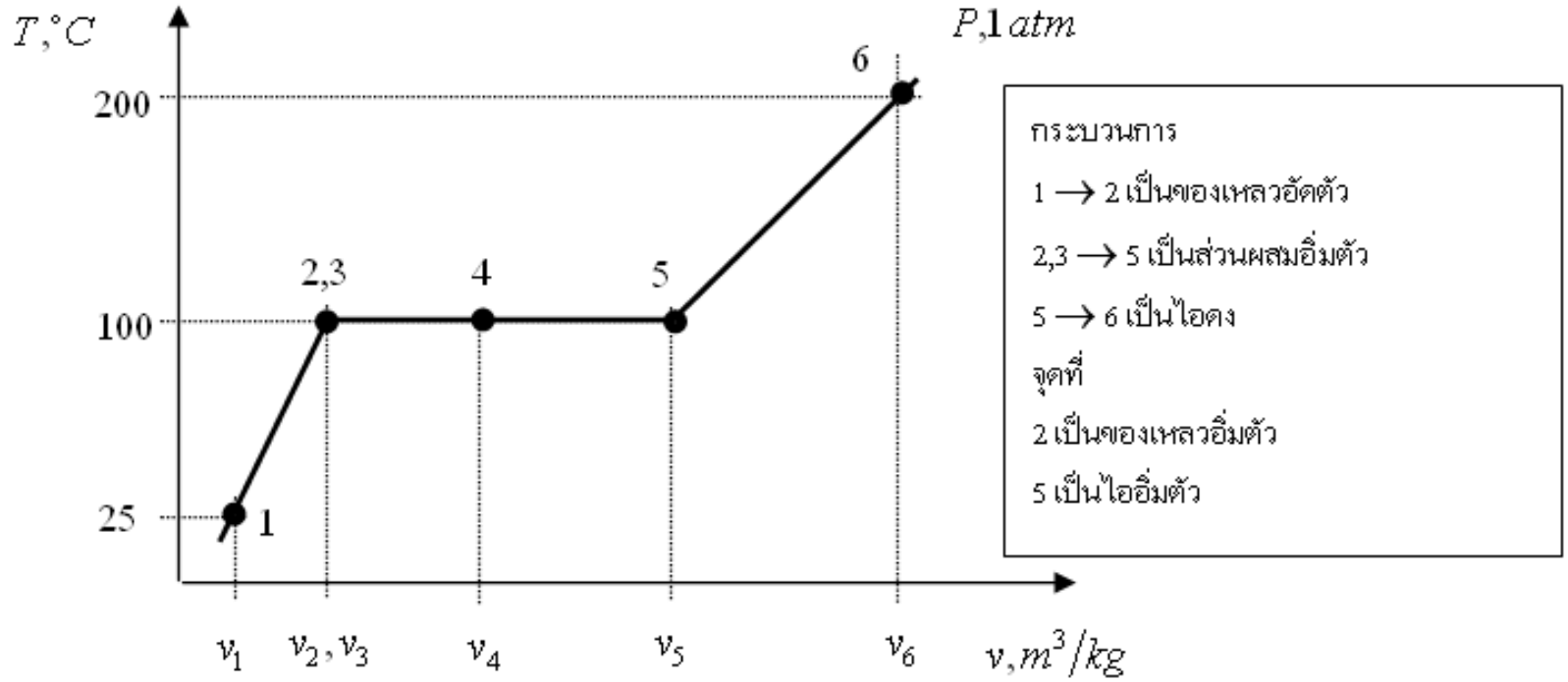
การแผ่รังสี(Radiation)



- การแผ่รังสีเป็นการส่งผ่านความร้อนโดย***คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า***
- วัตถุทุกชนิด(อุณหภูมิสูงกว่า 0 K)
  - จะแผ่รังสีออกมาในทุกช่วงความยาวคลื่น
  - แต่จะมีความยาวคลื่นค่าหนึ่งที่พลังงานถูกแผ่ออกมามากที่สุด ซึ่งความยาวคลื่นนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิของวัตถุเพิ่มขึ้น ความยาวคลื่นจะลดลง

การเปลี่ยนสถานะของสารบริสุทธิ์

เปลี่ยนสถานะได้ โดยมีความสัมพันธ์กับพลังงานความร้อน อุณหภูมิและความดัน ซึ่งในกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสารบริสุทธ์ คุณสมบัติต่าง ๆ ของสารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



การเปลี่ยนสถานะและความร้อนแฝง
(Phase Changes and Latent Heat)

- **สถานะ(phase)**
  - ของแข็ง , ของเหลว , ก๊าซ
  - การเปลี่ยนสถานะจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งเรียกว่า phase change หรือ phase transition
  - การเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้น ณ อุณหภูมิหนึ่ง (นั่นคือ อุณหภูมิไม่เปลี่ยน)
  - เช่นการละลายของน้ำแข็ง
    - ต้องใส่ความร้อนเข้าไปเพื่อเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของแข็งไปเป็นของเหลว ความร้อนที่ใช้นี้เรียกว่า ความร้อนแฝง(latent heat)

การเปลี่ยนสถานะและความร้อนแฝง

(Phase Changes and Latent Heat)

ความร้อนแฝง (latent heat)

- ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว(latent heat of fusion)
- ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ(latent heat of vaporization)

$$L \equiv Q/m$$

$$Q = \pm mL$$

ค่าความร้อนของการเปลี่ยนสถานะ

Table 20.2

Latent Heats of Fusion and Vaporization

Substance	Melting Point (°C)	Latent Heat of Fusion (J/kg)	Boiling Point (°C)	Latent Heat of Vaporization (J/kg)
Helium	−269.65	5.23×10^3	−268.93	2.09×10^4
Nitrogen	−209.97	2.55×10^4	−195.81	2.01×10^5
Oxygen	−218.79	1.38×10^4	−182.97	2.13×10^5
Ethyl alcohol	−114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Water	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Sulfur	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Lead	327.3	2.45×10^4	1 750	8.70×10^5
Aluminum	660	3.97×10^5	2 450	1.14×10^7
Silver	960.80	8.82×10^4	2 193	2.33×10^6
Gold	1 063.00	6.44×10^4	2 660	1.58×10^6
Copper	1 083	1.34×10^5	1 187	5.06×10^6

ตัวอย่าง

กระป๋องแคลอริมิเตอร์มวล 100 g ทำจากวัสดุที่มีความจะความร้อนจำเพาะ $c_c = 0.0092\ \text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ บรรจุน้ำ 300 g ที่อุณหภูมิ 25°C ถ้าเติมน้ำแข็ง 50 g ที่ 0°C ลงไปในกระป๋องแคลอริมิเตอร์นี้ อุณหภูมิสุดท้ายของทั้งระบบจะเป็นเท่าใด (ถ้าไม่มีการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อมภายนอก)

วิธีทำ เราจะใช้หลักการคงตัวของพลังงาน นั่นคือ ความร้อนที่เสีย + ความร้อนที่ได้รับ = 0

ความร้อนที่น้ำในกระป๋องและความร้อนที่ตัวกระป๋องสูญเสียคือ

$$Q_{loss} = m_w c_w \Delta T + m_c c_c \Delta T$$

$$= (m_w c_w + m_c c_c)(T - T_0)$$

$$= [(300\ \text{g})(0.0092\ \text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}) + (300\ \text{g})(1.0\ \text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C})](T - 25^\circ\text{C})$$

$$= (302.8T - 7569)\ \text{cal}$$

ความร้อนที่น้ำแข็งได้รับขณะละลายและความร้อนที่น้ำแข็งที่ละลายแล้วที่ 0°C ได้รับคือ

$$Q_{gain} = m_{ice} L_f + m_{ice} c_w \Delta T$$

$$= (50\ \text{g})\left(80\ \frac{\text{cal}}{\text{g}}\right) + (50\ \text{g})\left(1.0\ \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot ^\circ\text{C}\right)(T - 0^\circ\text{C})$$

$$= (4000 + 50T)\ \text{cal}$$

แทนค่าลงใน $Q_{loss} + Q_{gain} = 0$ จะได้ $T = 10.1^\circ\text{C}$

สารตัวกลางในการทำงานที่เป็นก๊าซ

สารที่อยู่ในสถานะไอจะถูกเรียกว่าก๊าซได้ก็ต่อเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิจุดวิกฤติขึ้นไป

สำหรับการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้แบ่งก๊าซออกเป็น 2 ลักษณะคือ

- ก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas)
- ก๊าซจริง (Actual Gas)

ก๊าซอุดมคติ

คือก๊าซในทางทฤษฎีนั่นเอง สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติจำพวกความดัน อุณหภูมิ และปริมาตร เป็นสมการได้ เรียกว่า สมการสภาวะ (Equation of State)

$$PV = mRT$$

$$PV = NR_uT$$

$$PV = nR_uT$$

$$R = \frac{R_u}{M}$$

$$R_u = 8.314 \frac{J}{K.mol}$$

n= mol

กฎของก๊าซ(Gas Laws)

- เมื่อก๊าซมี **อุณหภูมิคงที่** ความดันจะแปรผกผันกับปริมาตร (Boyle's law)

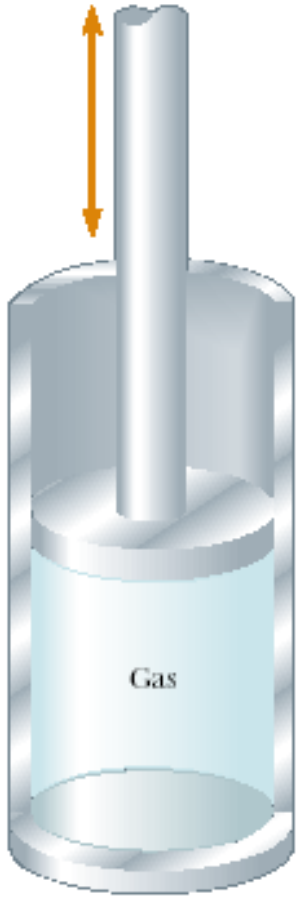
$$V \alpha \frac{1}{P}$$

- เมื่อก๊าซมี **ความดันคงที่** ปริมาตรจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ (Charles 's law)

$$V \alpha T$$

- นำกฎของบอยส์และชาร์ล มาพิจารณาร่วมกันจะได้ว่า

$$\frac{PV}{T} = k$$



การเปลี่ยนแปลงของก๊าซภายในระบบปิด

สภาวะที่ 1

ก๊าซ $m = 10kg$

$T_1 = 20^\circ C$

$V_1 = 0.4m^3$

$P_1 = 100kPa$

สภาวะที่ 2

ก๊าซ $m = 10kg$

$T_2 = 120^\circ C$

$V_2 = 0.4m^3$

$P_2 = 400kPa$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \ldots = \frac{P_nV_n}{T_n} = mR = C$$

ก๊าซจริง

มีพฤติกรรมเบี่ยงเบนออกจากก๊าซอุดมคติ จึงต้องมีตัวปรับแก้เพิ่มเข้าไปในสมการสภาวะ

สมการสภาวะของแวนเดอร์วาลส์

มีค่าคงที่เพิ่มเข้ามา 2 ค่า ซึ่งค่าทั้ง 2 ได้จากการวิเคราะห์พฤติกรรมของก๊าซที่จุดวิกฤต

$$\left(P+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=RT$$

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบปิด

พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นหรือถูกทำลายได้ แต่สามารถเลี่ยนรูปได้

$$Q - W = \Delta E$$

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

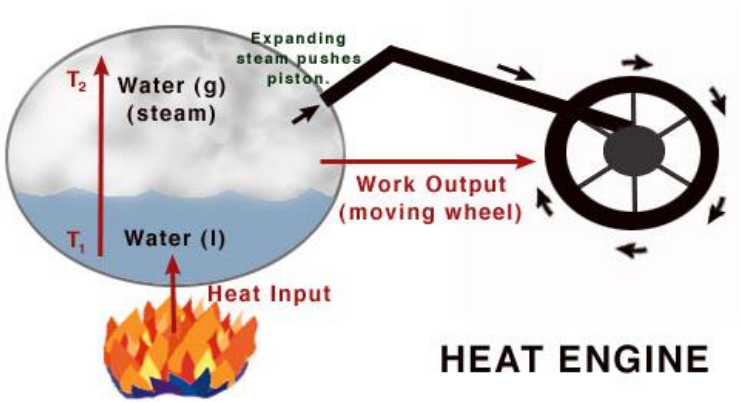
กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์นั้นนอกจากจะกล่าวถึงพลังงานในเชิงของปริมาณแล้ว ยังจะแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดต่าง ๆ สำหรับกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่จะก่อให้เกิดความเป็นไปได้จริง หรือไม่ได้จริง

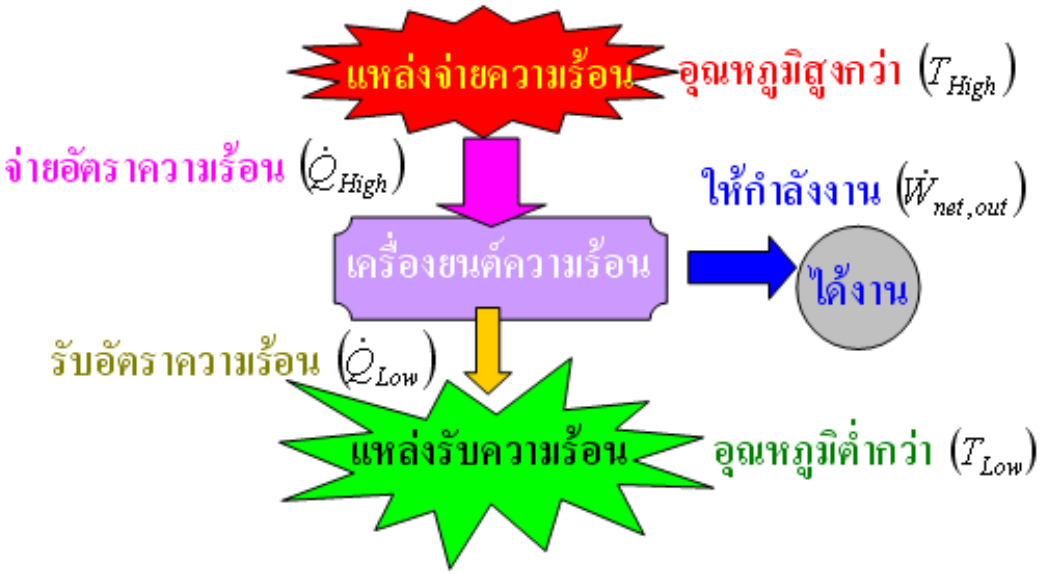
(Entropy, S) $\mathrm{dS} \geq \frac{dq}{T}$ หรือ $dS = \frac{dq}{T}$

เครื่องยนต์ความร้อน

เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแหล่งจ่ายความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ให้เป็นพลังงานกลในรูปแบบต่าง ๆ แล้วระบายความร้อนที่เหลือไปสู่แหล่งพลังงานที่มีอุณหภูมิต่ำ



HEAT ENGINE



ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เป็นดัชนีที่ใช้วัดขีดความสามารถว่าสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นงานกลได้มากเพียงใด เนื่องจากไม่มีเครื่องยนต์ความร้อนใดจะสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้รับให้เป็นงานได้ทั้งหมด ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าน้อยกว่า 100% เสมอ (กฎข้อที่สอง)

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,out}}{Q_{in}} = \frac{W_{net,out}}{Q_H} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$